

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2003 年 9 月 12 日 (12.09.2003)

PCT

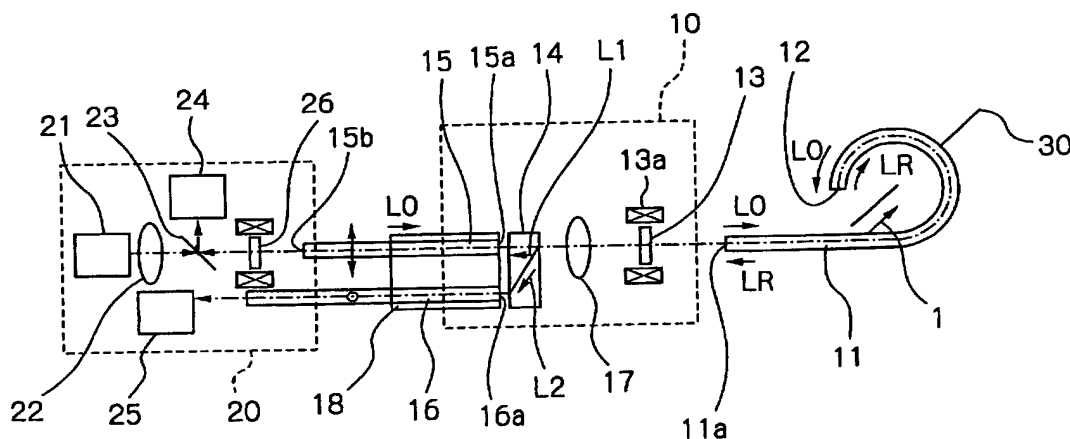
(10) 国際公開番号  
WO 03/075018 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: G01R 15/24  
(21) 国際出願番号: PCT/JP03/02344  
(22) 国際出願日: 2003 年 2 月 28 日 (28.02.2003)  
(25) 国際出願の言語: 日本語  
(26) 国際公開の言語: 日本語  
(30) 優先権データ:  
特願2002-55231 2002 年 3 月 1 日 (01.03.2002) JP  
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 東京電力株式会社 (TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY) [JP/JP]; 〒100-0011 東京都千代田区 内幸町 1 丁目  
1 番 3 号 Tokyo (JP). 並木精密宝石株式会社 (NAMIKI PRECISION JEWEL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒123-8511 東京都足立区 新田 3-8-2 2 Tokyo (JP).  
(72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 黒澤 潔 (KURO-SAWA, Kiyoshi) [JP/JP]; 〒100-0011 東京都千代田区 内幸町 1 丁目 1 番 3 号 東京電力株式会社内 Tokyo (JP). 廣木 良治 (HIROKI, Yoshiharu) [JP/JP]; 〒100-0011 東京都千代田区 内幸町 1 丁目 1 番 3 号 東京電力株式会社内 Tokyo (JP). 今野 良博 (KONNO, Yoshihiro) [JP/JP]; 〒123-8511 東京都足立区 新田 3-8-2 2 並木精密宝石株式会社内 Tokyo (JP). 佐々木 勝 (SASAKI, Masaru) [JP/JP]; 〒123-8511 東京都足立区 新田 3-8-2 2 並木精密宝石株式会社内 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: CURRENT MEASURING DEVICE

(54) 発明の名称: 電流測定装置



(57) Abstract: A current measuring device comprising a current detector (10) and a photoelectric converter (20). The detector (10) is provided with an optical fiber sensor (11) installed to encircle the outer periphery of a conductor (30), and the sensor (11) is provided at one end side thereof with a reflection film (12) so as to effect reflection at the end thereof. The current detector (10) comprises a first Faraday element (13), a light-transmitting double refraction element (14), a first optical fiber (15), a second optical fiber (16), and a lens (17). The Faraday element turns the polarization surface of an incident light almost 22.5°. The double refraction element (14) has the functions of separating an output light from the sensor (11) into a normal light L<sub>1</sub> and an abnormal light L<sub>2</sub> mutually crossing perpendicularly, and transmitting linearly polarized light L<sub>0</sub> emitted from a light source. The lens (17) is disposed between the element (13) and the double refraction element (14), with image forming points set at the incident end (11a) of the sensor (11) and at a core at one end surface (15a) of the first optical fiber (15). Accordingly, constituting parts are reduced in number to thereby reduce the size of the device.

(57) 要約: 電流測定装置は、電流検出部 10 と、光電変換部 20 とを備えている。検出部 10 に、導体 30 の外周に周回設置される光ファイバセンサ 11 を有し、センサ 11 は、端部で反射するように一端側に反射膜 12 が設けられている。電流検出部 10 は、第 1 ファラデー素子 13 と、光透過型の複屈折体 14 と、第 1 光ファイバ 15 と、第 2 光ファイバ 16 と、レンズ 17 とを備えている。ファラデー素子 13 は、入射する光の偏波面をおよそ 22

[続葉有]



(74) 代理人: 社本 一夫, 外(SHAMOTO, Ichio et al.); 〒100-0004 東京都千代田区大手町二丁目2番1号 新大手町ビル206区 ユアサハラ法律特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

5°回転させる。複屈折体14は、センサ11からの出射光を、相互に直交する常光L1と異常光L2とに分離するとともに、光源から発射される直線状偏波光L0を透過させる機能を備えている。レンズ17は、素子13と複屈折体14との間に設置され、結像点がセンサ11の入射端11aと第1光ファイバ15の一端面15aのコア部に設定されている。このような構成によって、構成部品を低減して、小型化する。

## 明細書

### 電流測定装置

#### 技術分野

本発明は、ファラデー効果を利用した電流測定装置に関し、特に、反射型の又は透過型の光ファイバセンサを用いる電流測定装置に関するものである。

#### 背景技術

光の偏波面が磁界の作用により回転するファラデー効果を利用した電流の測定装置が知られている。この種の測定装置としては、例えば、特開平10-319051号公報や特開2000-292459に反射型の電流測定装置例が開示されている。

このような電流測定装置では、電磁雑音の影響を受けず、また、電流検出用光ファイバを周回配置した内部のみに感知して、周回配置した外部導体に流れる電流からの影響を受け難いなどの長所がある。したがって、例えば、ガス絶縁式の開閉装置内への適用や、短絡事故、地絡事故の発生区間の特定用、新需要家や新供給家による電力需給変動の監視、さらには、効率的需給配電用としての適用が検討されている。

上記公報に開示されている反射型の電流測定装置は、被測定電流が流れている導体の外周に光ファイバセンサを周回設置し、光ファイバセンサの一端側から入射させた直線状偏波光を、光ファイバセンサの他端側で反射させた際に、被測定電流の磁界で回転する直線状偏波光のファラデー回転角を測定することを基本構成としている。

図11は、従来のこの種の反射型の電流測定装置の要部を示したものである。電流測定装置は、被測定電流が流れている導体1の外周に、反射型の光ファイバセンサ2が周回設置されている。

光ファイバセンサ2の入射端側には、直線状偏波光の偏波面を22.5°回転させる光透過型の磁気飽和性を持つ強磁性ファラデー素子3が設けられている。強磁性ファラデー素子3の前端側には、光ファイバセンサ2からの出射光を、直交する常光と異常光とに分離して受光素子に導く光透過型の複屈折体4が設置されている。

しかしながら、このような構成を備えた電流測定装置には、以下に説明する技術的な課題があった。

すなわち、上記公報に開示されている電流測定装置は、実際に、測定機器として使用する際には、光ファイバのコアに光を収束させる必要がある。そのため、  
5 例えば、図11に示すように、光ファイバセンサ2と強磁性ファラデー素子3との間、および、複屈折体4とこれに直線状偏波光を導入する光ファイバ5との間、ないしは、偏光分離された異常光を導出する光ファイバ6との間に、それぞれレンズ7を介在させることになる。

ところがこのような構成では、複屈折体4における常光と異常光との間の分離  
10 間隔が比較的狭いので、複屈折体4と光ファイバ5、6との間に、2個のレンズ7を平行に配置することが非常に難しい。

レンズ7の設置が可能な分離間隔を確保しようとする、この分離間隔が複屈折体4の厚みに比例するので、複屈折体4の厚みが大きくなり、全体構造が大型化する。

15 また、図11に示した構造では、構成部品が多くなり、構成が複雑化するとともに、レンズ7と光ファイバなどの光軸合わせにも時間がかかり、組立て工数も嵩み、その結果、製造コストも高くなるという問題があった。

さらに、特開平10-319051号公報では、電流検出部内部に一軸性複屈折結晶製平行平板はあるものの、偏波保持光ファイバ5と光ファイバ6が一括固  
20 着された部分組立品とレンズとを一括組立てできる構成ではない。従って、それぞれの光ファイバは独立に固定する必要がある。このため、独立に固定するための部材の容積と組立てするためのスペースが必要となり、偏波保持光ファイバと光ファイバ間の距離が長くなる。結果として電流検出部は大きなサイズとなってしまう。

25 このような問題の解決手段として、例えば、図12に示すように、複屈折体として、ローションプリズム4aを用い、これと光ファイバ5、6との間に1つのレンズ9を設置する構成が考えられる。

また、図13に示すように、複屈折体として、一軸性複屈折結晶材料製のクサビ形プリズム4bを用い、これと光ファイバ5、6との間に1つのレンズ9を用

いる構成が考えられ、図 1 2 と図 1 3 に示した構成によれば、構成部品の低減を図ることができる。

しかしながら、このような解決手段では、ローションプリズム 4 a ないしはクサビ形プリズム 4 b から送出される常光と異常光との光路が、平行にならず、この  
5 のような状態でレンズ 9 に光を入射すると、レンズ 9 を通過した後で両光を平行にする必要があるので、レンズ 9 の構造が複雑になり、また、高度な調整も必要となって、所要の効果が得られない。

一方、特開 2 0 0 0 - 2 9 2 4 5 9 においては、電流検出部と光電変換部が 1 本の光ファイバで結ばれ、簡素化されている。しかしながら、電流検出部内にあ  
10 る 2 2 . 5 ° ファラデー素子の温度特性による電流測定値の変動を補償できない。すなわち、電流検出用光ファイバ内の直線状偏波光がファラデー効果により回転する角度と 2 2 . 5 ° ファラデー素子の偏波面回転角が温度により変化した分が複合された状態で光電変換素子で受光されるため、2 2 . 5 ° ファラデー素子の偏波面回転角が温度により変化した分が分離できない。以上のように、電流検  
15 出部が小型で 2 2 . 5 ° ファラデー素子の温度特性による電流測定値の変動を補償し、且つ電流検出部からの被測定光を効率よく受光し、安価な電流測定装置を提供する方法が無かった。

次に、従来技術に係る透過型の電流測定装置の一例を、図 1 4 に基づいて説明する。透過型の電流測定装置においては、被測定電流が流れている導体の外周に  
20 光ファイバセンサ 2 0 0 が、周回設置されている。光ファイバセンサ 2 0 0 の一端側は、薄型の偏光子 2 0 2 が接続されており、他端側は偏光分離部 2 0 4 が接続されている。偏光子 2 0 2 は、図示しない光源からのランダム光を受け、このランダム光のうち波の振動方向がそろった直線状偏波光のみを取り出して光ファイバセンサ 2 0 0 に送出する。直線状偏波光が光ファイバセンサ 2 0 0 を通る際  
25 に、被測定電流の磁界の影響を受けて、磁界の大きさに比例して直線状偏波光の偏波面が所定角度だけ回転する。このようにして、偏波面が回転した直線状偏波光は、光ファイバセンサ 2 0 0 の他端側から送出され、偏光分離部 2 0 4 に入射する。直線状偏波光は、偏光分離部 2 0 4 において常光と異常光とに分離され、常光は第 1 の光ファイバ 2 0 6 に出力され、異常光は第 2 の光ファイバ 2 0 8 に

出力される。第1の光ファイバ206を通った常光と、第2の光ファイバ208を通った異常光とは、図示しない光電変換部に出力される。光電変換部において、常光と異常光とがそれぞれ電気量に変換され、これらの電気量が図示しない信号処理回路に送られ、かかる電気量に基づいてファラデー回転角が求められ、最終的に被測定電流が測定される。

偏光分離部204は、直線状偏波光を常光と異常光とに分離するための複屈折体としての複屈折体210と、光ファイバセンサ200の出射端から出射される直線状偏波光を複屈折体210に導くためのレンズ212と、複屈折体210から出射される常光を第1の光ファイバ206に導くためのレンズ214と、複屈折体210から出射される異常光を第2の光ファイバ208に導くための光路シフト用プリズム216及びレンズ218とを備えている。偏光子202の結晶軸と複屈折体210の結晶軸とは互いに対して45°ずれており、これによって、複屈折体210は、光ファイバセンサ200から出射された直線状偏波光を互いに対して直交する常光と異常光とに分離することができるようになっている。

このように、透過型の光ファイバセンサにおいても、複屈折体210と光ファイバセンサ206、208との間に2個のレンズ214、218が必要となり、分離間隔を大きくとる際にはさらに光路シフト用プリズム216が必要となり、結果として電流測定装置の全体構造が大型化するという問題点があった。

本発明は、このような従来の問題点に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは、構成部品の低減により、小型化を達成し、かつ、簡単に組み立てられる電流測定装置を提供することにある。

#### 発明の開示

上記目的を達成するために、本発明は、電流測定装置であって、被測定電流が流れている導体の外周に周回設置される光ファイバセンサを備え、光源から出射され前記光ファイバセンサ中を伝播する直線状偏波光の偏波面が、前記被測定電流の磁界で回転され、前記光ファイバセンサから出射される前記直線状偏波光の偏波面の回転角を電気量に変換する光電変換部と、前記光ファイバセンサと前記光電変換部との間に設けられた光回路部とを備え、前記光回路部は、結晶軸を有する複屈折体であって、前記光ファイバセンサから出射した直線状偏波光が前記

結晶軸と光軸を含む面と直交する面に沿って入射したときには当該直線状偏波光をそのまま透過し、前記光ファイバセンサから出射した直線状偏波光が前記結晶軸と光軸を含む面に沿って入射したときには当該直線状偏波光を平行移動させて出射させる複屈折体を有しており、前記電流測定装置は、また、常光を、前記光回路部の複屈折体から前記光電変換部に送出すると共に、異常光を、前記光回路部の複屈折体から前記光電変換部に送出するための複数の光ファイバと、前記複数の光ファイバを所定間隔を隔て保持する保持手段とを備え、前記複数の光ファイバは、一端と他端とを有しており、前記複数の光ファイバの一端は、前記複屈折体の近傍に配置され、前記他端は前記光電変換部に接続されている電流測定装置を提供するものである。

上記構成の電流測定装置によれば、各光ファイバの一端を複屈折体の近傍に配置して、光を各光ファイバのコア部に導入することができるようにしたので、各光ファイバの一端と複屈折体との間に従来のようにレンズを設ける必要がなくなつて、少なくとも一つのレンズで各光ファイバに光を導くことが可能となり、これにより、電流測定装置の小型化を図ることができる。

また、本発明の電流測定装置は、被測定電流が流れている導体の外周に周回設置される光ファイバセンサと、光源から出射され前記光ファイバセンサ中を伝播する直線状偏波光が、前記被測定電流の磁界で回転するファラデー回転角を検出する前記光ファイバセンサと、前記光ファイバセンサで検出されたファラデー回転角を電気量に変換する光電変換部と、前記光ファイバセンサと前記光電変換部との間に設けられた光回路部とを備える。前記光回路部は、前記光ファイバセンサの入射端近傍に設置され、前記直線状偏波光の偏波面を所定角度回転させるファラデー素子と、前記ファラデー素子の前記光電変換部側に設置され、前記光ファイバセンサからの出射光を、互いに対して直交する常光と異常光とに分離する光透過型の複屈折体とを備える。前記電流測定装置は、また、前記直線状偏波光を前記複屈折体に入射させるとともに、前記複屈折体から出射される常光を前記光電変換部に送出する第1光ファイバと、前記複屈折体から出射される異常光を前記光電変換部に送出する第2光ファイバとを備える。前記光回路部は、さらに、前記光ファイバセンサの入射端と前記複屈折体との間に設置され、結像点が前

記光ファイバセンサと前記第 1 光ファイバの端面コア部に設定されるレンズ系を有している。

上記構成の電流測定装置によれば、光ファイバセンサの入射端と複屈折体との間に設置するレンズ系は、結像点を、光ファイバセンサの端面コア部と、直線状偏波光を複屈折体に入射させるとともに、複屈折体から出射される常光を光電変換部に送出する第 1 光ファイバの端面コア部とにそれぞれ設定するので、この 1 つのレンズ系だけで済み、光回路部の構成部品の低減と小型化とが達成され、光軸合わせも簡単になる。

また、複屈折体と第 1 および第 2 光ファイバとの間にレンズを配置しない構成では、複屈折体を薄型化して、常光と異常光との間の分離間隔を小さくしても、これに対応させて第 1 および第 2 光ファイバの設置間隔を合わせればよく、複屈折体を薄型化して、より一層の小型化を図ることができる。

本発明の電流測定装置では、前記レンズ系は、前記複屈折体と前記ファラデー素子との間、または、前記ファラデー素子と前記光ファイバセンサとの間に設置することができる。

前記複屈折体は、ルチル、オルトヴァナジン酸イットリウム、ニオブ酸リチウム、方解石からなる平行平板から選択することができる。

前記第 1 および第 2 光ファイバは、2 芯構造のフェルールなどからなる間隔保持部材により所定間隔を隔てて平行に保持され、前記第 1 および第 2 ファイバの保持間隔を、前記平行平板で構成された前記複屈折体の厚みと物質とに応じて求められる前記常光と異常光との間の分離間隔に設定することができる。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の第 1 実施例にかかる電流測定装置の全体構成説明図である。

図 2 は、図 1 の要部拡大図である。

図 3 は、本発明の第 2 実施例にかかる電流測定装置の要部拡大図である。

図 4 は、本発明の第 3 実施例にかかる電流測定装置の全体構成説明図である。

図 5 は、本発明の第 4 実施例にかかる電流測定装置の全体構成説明図である。

図 6 は、本発明の第 5 実施例にかかる電流測定装置の全体構成説明図である。

図 7 は、本発明の第 6 実施例にかかる電流測定装置の全体構成説明図である。



図 8 (a) は、本発明の第 7 実施例にかかる電流測定装置の全体構成説明図である。

図 8 (b) は、第 7 実施例にかかる電流測定装置の要部拡大図である。

図 9 は、本発明の第 8 実施例にかかる電流測定装置の要部拡大図である。

5 図 10 は、他の実施例に係るレンズの構成を説明するための概略図である。

図 11 は、従来の電流測定装置の一例を示す要部説明図である。

図 12 は、図 11 に示した電流測定装置の改良例の要部説明図である。

図 13 は、図 11 に示した電流測定装置の他の改良例の要部説明図である。

図 14 は、透過型の電流測定装置の従来技術の一例を示す概略図である。

10

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の好適な実施の形態について、添付図面に基づいて詳細に説明する。図 1 および図 2 は、本発明にかかる電流測定装置の第 1 実施例を示している。同図に示した電流測定装置は、反射型の光ファイバセンサ 11 と、光回路部 1

15 0 と、光電変換部 20 とを備えている。

光ファイバセンサ 11 は、被測定電流  $I$  が流れている導体 30 の外周に周回設置される。光ファイバセンサ 11 は、鉛ガラスファイバや石英ガラスファイバなどで構成され、内部に直線状偏波光  $L_0$  ないしは反射直線状偏波光  $L_R$  を伝播させるものである。導体 30 の外周を周回した後に、直線状偏波光  $L_0$  を端部で反

20 射するように、一端側に反射用部材としての反射膜 12 が設けられている。本実施例においては、反射膜 12 を設けたが、本発明においてはこれに限定されるものではなく直線状偏波光を反射するような任意の要素を採用することができ、例えば、金、銀、銅、クロム、アルミなどの光に対して低吸収率、高反射率の金属や、低吸収率、高反射率の多層膜を用いた反射ミラーを用いることができる。

25 光回路部 10 は、常光又は異常光のうちのいずれか一方の直線状偏波光が光ファイバセンサ 11 に入力するように、また、光ファイバセンサ 11 から出力された直線状偏波光の偏波面のファラデー回転角を検出するために、被測定電流  $I$  の磁界  $H$  の影響を受けた直線状偏波光を常光と異常光とに分離するための回路であ

り、第1ファラデー素子13と、複屈折体としての複屈折体14と、第1光ファイバ15と、第2光ファイバ16と、レンズ17とを備えている。

5      なお、光回路部10と光ファイバセンサ11とから、光ファイバセンサ中を伝播する直線状偏波光 $L_0$ 、 $L_R$ が、被測定電流 $I$ の磁界 $H$ の影響を受けて偏波の方位が回転した光ファラデー回転角を検出する電流検出部が構成されている。

10      第1ファラデー素子13は、外周に磁石13aが設けられた光透過型のものであって、光ファイバセンサ11の入射端11a近傍に設置され、入射する直線状偏波光 $L_0$ ないしは反射直線状偏波光 $L_R$ の偏波面を $22.5^\circ$ 回転させる。したがって、第1ファラデー素子13を通った直線状偏波光 $L_0$ の偏波面と、第1  
15      ファラデー素子13を通った反射直線状偏波光 $L_R$ の偏波面は、被測定電流 $I$ の影響を受けない場合、 $45^\circ$ のずれが生じることになる。このように、直線状偏波光の偏波面を $45^\circ$ 回転させるのは、複屈折体14において、反射直線状偏波光 $L_R$ を常光と異常光とに分離して、常光と異常光とに基づいてファラデー回転角を求め、ファラデー回転角から被測定電流値を算出するためである。なお、  
20      後述する透過型の光ファイバセンサを用いた場合は、偏波面を $22.5^\circ$ 回転させるようなファラデー素子を設ける必要はない。というのは、透過型の光ファイバセンサにおいては、該光ファイバセンサの入射端側に偏光子を設け、出射側に複屈折体（検光子ともいう）を設け、偏光子の結晶軸に対して検光子の結晶軸の角度を $45^\circ$ ずらすことによって対応できるからである。これに対して、本実施  
25      例のような反射型の光ファイバセンサを用いる場合、複屈折体14を出射した直線状偏波光の偏波面と、反射して複屈折体14に戻ってきた直線状偏波光の偏波面との間の角度を $45^\circ$ ずらすために、直線状偏波光の偏波面を $22.5^\circ$ 回転させる第1のファラデー素子13が設けられている。

30      常光と異常光とに基づいてファラデー回転角を求め、ファラデー回転角から被測定電流値を正確且つ容易に算出するには、複屈折体14を出射した直線状偏波光の偏波面と、反射して複屈折体14に戻ってきた直線状偏波光の偏波面との間の角度差は、被測定電流の磁界の影響を受けない状態で、 $45^\circ$ にするのが最も好ましい。しかしながら、本発明はこれに限定されるものではない。光の偏波面を $22.5^\circ$ 回転させるように第1のファラデー素子13を設定しているのは、

測定レンジを最大にするためである。測定レンジが多少狭くなっても電流測定装置として機能することから、第1のファラデー素子13は、偏波面を $22.5^\circ$ よりも小さい角度又は大きい角度だけ回転させるようなものであってもよい。

5 複屈折体14は、光透過型のものであって、第1ファラデー素子13の光電変換部20側に設置されている。複屈折体14は、常光が異常光に対して平行に移動して出射するような結晶軸にした複屈折体から構成されており、直線状偏波光が前記結晶軸と光軸を含む面と直交する面に沿って入射したときには当該直線状偏波光をそのまま透過し、直線状偏波光が前記結晶軸と光軸を含む面に沿って入射したときには当該直線状偏波光を平行移動させて出射させる機能を備えている

10 。前記2つの直交する面以外の面で入射したときは光強度はそれぞれのベクトル成分に分配され、常光はそのまま透過し、異常光は平行移動して出射する。したがって、複屈折体14は、光ファイバセンサ11からの出射光を、相互に直交する常光 $L_1$ と異常光 $L_2$ とに分離するとともに、後述する光源から発射される直線状偏波光 $L_0$ を透過させる。

15 このような機能を有する複屈折体14は、以下の表に示す物性を有する複屈折結晶物質、すなわち、ルチル、オルトヴァナジン酸イットリウム、ニオブ酸リチウム、方解石から選択することができる。

このような材質から選択された物質は、所定厚み $t$ で、対向する2面が平行となる平板に加工して複屈折体14とされ、平行な平面の一方が、第1光ファイバ

20 15および第2光ファイバ16の端面と対向し、他方の平面がレンズ17と対向するように設置する。

このような平行平板に加工された複屈折体14では、反射直線状偏波光 $L_R$ が一方の平面から入射すると、常光 $L_1$ と異常光 $L_2$ とに分離され、他方の平面から出射すると、これらの常光 $L_1$ と異常光 $L_2$ とが所定の分離間隔 $d$ を隔てて平

25 行になる。

## 複屈折結晶の物性

複屈折結晶		TiO <sub>2</sub> ルチル	YVO <sub>4</sub> オルトヴァナジン酸イットリウム	LiNbO <sub>3</sub> ニオブ酸リチウム	CaCO <sub>3</sub> 方解石
熱膨張係数 (/°C)	c-axis	9.19 x 10 <sup>-6</sup>	11.37 x 10 <sup>-6</sup>	16.7 x 10 <sup>-6</sup>	5.68 x 10 <sup>-6</sup>
	a-axis	7.14 x 10 <sup>-6</sup>	4.43 x 10 <sup>-6</sup>	7.0 x 10 <sup>-6</sup>	24.39 x 10 <sup>-6</sup>
屈折率@1.55μm	no	2.452	1.938	2.219	1.6629
	ne	2.709	2.138	2.14	1.4885
複屈折性@1.55μm		-0.257	-0.2	0.079	0.1744
結晶形態		正の一軸性結晶	正の一軸性結晶	負の一軸性結晶	負の一軸性結晶
モース硬度		6.5	5	5	3
耐環境		良	良	良	潮解性有り
常光と異常光が最大に分離する結晶軸の入射ビームに対する角度(°)		47.8	47.8	44	41.9
結晶の厚さを t(mm) を 1 とした時のビーム分離幅(mm)					
		0.099841	0.098372	0.036259	0.111021

第1光ファイバ15は、偏波面保持ファイバから構成され、一端側の端面15aが複屈折体14の近傍に配置されている。すなわち、一端側の端面15aは、複屈折体14に僅かな間隔を隔てて近接配置するか、あるいは、双方が当接するように配置することができる。その結果、第1光ファイバ15は、直線状偏波光 $L_0$ を複屈折体14に入射させるとともに、複屈折体14から出射される常光 $L_1$ を光電変換部20側に送出することができるようになっている。

第2光ファイバ16は、通常形態の単一モード光ファイバやマルチモード光ファイバや偏波面保持ファイバなどから構成され、一端側の端面16aが、第1光ファイバ15と実質的に同様に、複屈折体14の近傍に配置されている。すなわち、一端側の端面16aは、複屈折体14に僅かな間隔を隔てて近接して配置するか、あるいは、双方が当接するように配置することができる。その結果、第2光ファイバ16は、複屈折体14から出射される異常光 $L_2$ を光電変換部20側に送出することができるようになっている。

本実施例の場合には、第1および第2光ファイバ15、16は、一端側の端面15a、16a同士が同一平面上にあって、所定間隔 $L$ を隔てて、2芯構造のフェルルール18により保持されている。

この場合の所定間隔 $L$ は、平行平板状の複屈折体14の厚み $t$ と選択された物質の物性に依じて設定される。すなわち、表1に示した複屈折結晶では、常光 $L_1$ と異常光 $L_2$ との分離間隔 $d$ は、以下の式求められる。(  $d=L$  )

$$d = t \times (nn - no) / \lambda$$

ここで、

$$nn = \sqrt{\frac{ne^2 \cdot no^2}{ne^2 \cdot \cos^2 \alpha + no^2 \cdot \sin^2 \alpha}}$$

$d$  : 常光 $L_1$ と異常光 $L_2$ との分離間隔

$t$  : 複屈折体14の厚み

$no$  : 複屈折体14の常光屈折率

$ne$  : 複屈折体14の異常光屈折率

$\alpha$  : 複屈折体14の入射角と結晶光軸のなす角度

$\lambda$  : 光の波長

分離間隔  $d$  が求められると、平行平板状の複屈折体 14 では、素子 14 から出射した常光  $L_1$  と異常光  $L_2$  とが平行になるので、所定間隔  $L$  を分離間隔  $d$  と一致させることで、これらの光を各光ファイバ 15, 16 のコア部に導入することができる。

この場合、2 芯構造のフェルール 18 は、例えば、間隔が  $125 \mu\text{m}$  に規格化されたものが市販されているので、分離間隔  $d$  がこれに適合するように複屈折体 14 の厚みを設定すると、規格品の利用が可能になり、経済性も向上する。

なお、第 1 および第 2 光ファイバ 15, 16 を所定間隔に保持する手段は、2 芯構造のフェルール 18 に限る必要はなく、例えば、平行な 2 本の V 字溝を備え、光ファイバ 15, 16 を V 溝内に挿入することで、双方の位置決めが可能な機能を備えた挟持構造の間隔保持部材であってもよい。

レンズ 17 は、本実施例の場合には、単一のレンズから構成され、第 1 ファラデー素子 13 と複屈折体 14 との間に設置され、結像点 A, B が、図 2 に示すように、光ファイバセンサ 11 の入射端 11a と第 1 光ファイバ 15 の端面 15a のコア部に設定されている。

本実施例の場合、光ファイバセンサ 11 の入射端 11a と第 1 光ファイバ 15 の一端面 15a は、それぞれの光軸と直交する直立面になっていて、レンズ 17 の結像点は、各ファイバのコア部の概略中心上に設定されている。

一方、光電変換部 20 には、光源 21 と、レンズ 22 と、偏波分離プリズム 23 と、2 個の第 1, 第 2 光電変換素子 24, 25 と、第 2 ファラデー素子 26 とを備えている。

光源 21 は、半導体レーザーなどで構成され、所定波長  $\lambda$  の光を発射させる。レンズ 22 は、光源 21 の前方に設置され、光源 21 から発射される光を結合させて、偏波分離プリズム 23 に入射させる。

偏波分離プリズム 23 は、光源 21 から発射された光を透過偏光させるとともに、第 1 光ファイバ 15 を介して入射される常光を、第 1 光電変換素子 24 側に反射させる。

第1および第2光電変換素子24, 25は、ホトダイオードなどで構成され、光を受光して、電気信号に変換する。第2ファラデー素子26は、偏波分離プリズム23の前方に設置され、入射する直線状偏波光を $45^\circ$ 回転させる。このように、直線状偏波光を $45^\circ$ 回転させる第2ファラデー素子26を設けたのは、  
5 順方向の直線状偏波光の偏波面と反射して戻ってくる逆方向の直線状偏波光の偏波面との間に $90^\circ$ のずれを生じさせることにより、逆方向の直線状偏波光を偏波分離プリズム23で屈折させてそのまま全てを第2光電変換素子24に入射させるためである。

第2ファラデー素子26の前方には、第1光ファイバ15の他端15bが近接  
10 配置されている。また、第2光電変換素子25には、第2光ファイバ16から送出される光が入力されるようになっている。

以上のように構成された電流測定装置では、光源21から発射された光は、レンズ22, 偏波分離プリズム23を透過して、第2ファラデー素子26に入射し、ここで偏波面を $45^\circ$ 回転させることで、直線状偏波光 $L_0$ として送出され、  
15 この直線状偏波光 $L_0$ が、第1光ファイバ15, 複屈折体14, レンズ17, 第1ファラデー素子13を通して、光ファイバセンサ11の入射端11aに到達し、この入射端11aから光ファイバセンサ11内に入射する。直線状偏波光 $L_0$ が、複屈折体14を通る際、直線状偏波光 $L_0$ の偏波面は複屈折体14の結晶軸と光軸を含む面と直交する面に沿って入射されるため、直線状偏波光 $L_0$ は複屈  
20 折体14をそのまま透過する。

レンズ17を通った直線状偏波光 $L_0$ は、第1ファラデー素子13を通過する際に、偏波面が $22.5^\circ$ 回転させられる。このときの偏波状態を $L_0'$ とする。光ファイバセンサ11内に入射した直線状偏波光 $L_0'$ は、その内部を伝播して、他端側に到達し、反射膜12で反射して反射直線状偏波光 $L_R$ となって、再び入  
25 射端11aに戻る。

このような伝播の際に、光ファイバセンサ11は、被測定電流Iが流れている導体30の外周に周回設置されているので、直線状偏波光 $L_0'$ , 反射直線状偏波光 $L_R$ は、電流磁界の影響を受けて偏波面が、被測定電流Iの大きさに応じて回転する。

入射端 11a から出射した反射直線状偏波光  $L_R$  は、再度第 1 ファラデー素子 13 を通過する際に、その偏波面が  $L_0'$  に対し更に  $22.5^\circ$  回転させられ、レンズ 17 を通過して、複屈折体 14 に入射する。

5 複屈折体 14 に入射した反射直線状偏波光  $L_R$  の偏波面は、直線状偏波光  $L_0$  の偏波面（に対して  $45^\circ + \alpha^\circ$  ずれている（ $\alpha^\circ$  は、被測定電流値によって影響を受けた角度）そのため、反射直線状偏波光  $L_R$  は、複屈折体 14 において、相互に直交する偏波面の常光  $L_1$  と異常光  $L_2$  とに分離される。常光  $L_1$  は、複屈折体 14 の結晶軸と光軸を含む面と直交する面に沿って出射され、異常光  $L_2$  は、光軸から離れて出射される。常光  $L_1$  は、第 1 光ファイバ 15 を介して、第 1 光電変換素子 24 に受光されて電気信号に変換される。一方、異常光  $L_2$  は、第 10 2 光ファイバ 16 を介して、第 2 光電変換素子 25 に受光されて電気信号に変換される。

光電変換素子 24, 25 により電気信号に変換されると、この電気信号は、例えば、1996 年発行の技術論文（電気学会論文誌 B、116 巻 1 号、93 ないし 103）に開示されているような論理回路に入力して、所定の演算を行うことにより、被測定電流  $I$  の大きさを求めることができる。

なお、上述した複屈折体 14 で分離される常光  $L_1$  と異常光  $L_2$  とは、第 1 ファラデー素子 13 の偏波面回転角に温度依存性がなければ、平均強度比が 1 : 1 となる。

20 ところが、本発明者らの知見によると、ファラデー素子 13 には、偏波面の回転角度に温度依存性があり、これを考慮しないと、測定誤差となる。そこで、本実施例では、第 1 および第 2 光電変換素子 24, 25 により得られた 2 つの電気信号のそれぞれの変調度（AC 成分 / DC 成分）の平均を演算することにした。

25 このような演算処理を行うと、ファラデー素子 13 の温度特性に基づく、偏波面の回転角度の変動を補償して、高精度の測定を可能にしつつ、光回路部 10 からの測定光を効率良く受光することができる。

さて、以上のように構成した電流測定装置によれば、第 1 ファラデー素子 13 と複屈折体 14 との間に設置するレンズ 17 は、結像点を、光ファイバセンサ 11 の端面コア部と、直線状偏波光  $L_0$  を複屈折体 14 に入射させるとともに、複



屈折体 14 から送出される常光  $L_1$  を光電変換部 20 に送出する第 1 光ファイバ 15 の端面コア部とにそれぞれ設定するので、この 1 つのレンズだけで済み、光回路部 10 の構成部品の低減と小型化とが達成され、光軸合わせも簡単になる。

また、複屈折体 14 と第 1 および第 2 光ファイバ 15, 16 との間にレンズを配置する必要がなくなり、複屈折体 14 を薄型化して、常光  $L_1$  と異常光  $L_2$  との間の分離間隔  $d$  を小さくしても、これに対応させて第 1 および第 2 光ファイバ 15, 16 の設置間隔  $L$  を合わせることができる。したがって、複屈折体 14 を薄型化しても従来の方式のような不都合がなく、より一層の小型化を図ることができる。

図 3 は、本発明にかかる電流測定装置の第 2 実施例を示しており、上記実施例と同一もしくは相当する部分には、同一符号を付してその説明を省略するとともに、以下にその特徴点についてのみ詳述する。

同図に示した実施例では、光回路部 10 は、上記実施例と同様に、第 1 ファラデー素子 13 と、光透過型の複屈折体 14 と、第 1 光ファイバ 15 と、第 2 光ファイバ 16 とを備えている。

複屈折体 14 と第 1 ファラデー素子 13 との間には、レンズ系 19 が介装されている。このレンズ系 19 は、所定の間隔を隔てて対向配置される 2 枚のレンズ 19a, 19b から構成されている。

一方のレンズ 19a は、結像点 A が第 1 光ファイバ 15 の端面 15a のコア部になるように設置されている。他方のレンズ 19b は、結像点 B が光ファイバセンサ 11 の入射面 11a のコア部になるように設置されている。

また、レンズ 19a, 19b 間では、平行光線になるように、レンズ 19a, 19b の間隔が設定されている。

このように構成した第 2 実施例では、レンズの数が第 1 実施例よりも 1 枚増えるがレンズ 19a, 19b に関して、単純な構成のコリメートレンズを用いることができ、したがって、レンズそれぞれを小型にすることができ、それに合わせて、全体の構成も小型化することができる。

また、このようなレンズ系 19 を採用すると、空間伝搬光と各ファイバ 11, 15 のモードフィールドの整合が図れ、挿入損失の低減が図れる。

図4は、本発明にかかる電流測定装置の第3実施例を示しており、上記実施例と同一もしくは相当する部分には、同一符号を付してその説明を省略するとともに、以下にその特徴点についてのみ詳述する。

5      なお、上記実施例では、レンズ系17、19は、複屈折体14とファラデー素子13との間に設置した場合を例示したが、本発明の実施は、これに限定されることはなく、結像点を光ファイバセンサ11と第1光ファイバ15の端面コア部に設定するようにすれば、レンズ系17、19は、ファラデー素子13と光ファイバセンサ11との間に設置することもできる。

10      同図に示した実施例では、図1に示した第1実施例に対して、光回路部10の構成は、実質的に同一であるが、光電変換部20aの構成に特徴がある。すなわち、本実施例の光電変換部20aは、第1実施例と同様に、光源21や第1および第2光電変換素子24、25を備えているが、偏波分離プリズム23などの構成に替えて、第1実施例で示した光回路部10にほぼ相当する部分C（図1に一点鎖線で囲んだ部分）の構成を用いている。

15      C部分の構成は、第1ファラデー素子13あるいは13'と、複屈折体14と、第1光ファイバ15と、第2光ファイバ16と、レンズ17と、フェルルール18に保持された第1および第2光ファイバ15、16とを備えている。

20      このように構成した実施例によれば、光回路部10と光電変換部20aとに、実質的に同じ構成の部品が共通使用されるので、構成部品の削減が可能になるとともに、共通する部分をユニット化すると、組立てもより一層簡単になる。

    なお、図4の光電変換部20a内のファラデー素子13'のファラデー回転角は45°であるのに対して、図4の光回路部10のファラデー素子13のファラデー回転角は22.5°となっている。

    次に、第4実施例にかかる電流測定装置を図5に基づいて説明する。

25      第4実施例にかかる電流測定装置は、ファラデー効果によって、電流が流れている導体100からの磁界により、電流検出用の光ファイバセンサ102内の直線状偏波光が回転する角度を測定するものである。この電流測定装置は、導体100を流れる電流を検出するための光ファイバセンサ102と、光回路部104と、光回路部104からの光量を電気に変換するための光電変換部106と、光

回路部 104 と光電変換部 106 とを接続する光ファイバ 108、110、112 とを備えている。光回路部 104 は、光源 114 から出射される直線状偏波光もしくはランダム偏波光から直線状偏波光を光ファイバセンサ 11 に入力するようにするための回路であり、また、光ファイバセンサ 11 から出力された直線状偏波光の偏波面のファラデー回転角を検出するために、被測定電流 I の磁界 H の影響を受けた直線状偏波光を常光と異常光とに分離するための回路である。

光電変換部 106 は、LD(半導体レーザー)、LED(発光ダイオード)、SLD(スーパールミネッセントダイオード)などから構成される光源 114 と、光源 114 から出射される光を偏波保持光ファイバ 108 の入射端 108a に結像させるためのレンズ 116 と、2 個の受光器 118、120 とを備えている。光源 114 と、レンズ 116 と、2 個の受光器 118、120 とは、同じ筐体内に設けられている。光電変換部 106 からは 2 本の光ファイバ(シングルモードファイバ又はマルチモードファイバ) 110、112 と、偏波保持光ファイバ 108 の計 3 本の光ファイバが、光回路部 104 に向けて延在している。

光回路部 104 は、光ファイバを保持するための 3 芯フェルール 122 と、第 1 の複屈折体 124 と、第 2 の複屈折体 126 と、 $4.5^\circ$  回転ファラデー素子 128 と、 $4.5^\circ$  回転ファラデー素子に磁界を与えるマグネット 130 と、 $22.5^\circ$  回転ファラデー素子 132 と、 $22.5^\circ$  回転ファラデー素子に磁界を与えるマグネット 134 と、第 2 の複屈折体 126 と  $22.5^\circ$  回転ファラデー素子 132 との間に配置されたレンズ 136 とを備えている。

3 芯フェルール 122 内には、3 本の光ファイバが装填されており、偏波保持光ファイバ 108 と光ファイバ 110 と光ファイバ 112 との間が所定間隔に保持されている。図 5(k) は、光源 114 側から 3 芯フェルール 122 を見た際の、偏波保持光ファイバ 108 及び光ファイバ 110、112 の配置パターンを示したものである。この図 5(k) に示されているように、3 芯フェルール 122 によって、偏波保持光ファイバ 108 は中心に位置決めされ、光ファイバ 110 は図中上側に位置決めされ、光ファイバ 112 は図中下右側に位置決めされている。

光回路部 104 からは電流センシング用の光ファイバセンサ 102 が延在している。光ファイバセンサ 102 は、鉛ガラスファイバから構成されており、その先端には反射鏡 102a が取付けられている。

次に、本実施例の作用を図 5 の (a) ないし (j) に基づいて説明する。

- 5 光源 114 から出た光が、光ファイバセンサ 102 先端の反射鏡 102a まで進行する方向を順方向光と呼び (a) ~ (e) とする。反射鏡から受光器に戻って進行する方向を逆方向光と呼び、(f) ~ (j) とする。

図 5 の (a) ないし (j) には、常光  $R_o$  と異常光  $R_e$  のそれぞれの偏波面が図式的に示されている。

- 10 順方向において、光源 114 から出た、ランダム偏波光は、レンズ 116 によって偏波保持光ファイバ 108 の入射端 108a に結合され、次いで、3 芯フェルルール 122 を通過して、第 1 の複屈折体 124 に入る (図 5 の (a) 参照)。

- 15 第 1 の複屈折体 124 では、光が、直線状偏波光としての常光  $R_o$  と、直線状偏波光としての異常光  $R_e$  とに分離される (図 5 の (b) 参照)。第 1 の複屈折体 124 の結晶軸が、 $\alpha = 47.8^\circ$  で配置されている。そのため、結晶軸と光軸を含む面と直交する面内で振動している常光  $R_o$  は、そのままスネルの法則に従って出力され、結晶軸を含む面内で振動する偏波面をもつ異常光  $R_e$  は、第 1 の複屈折体を通る際に屈折して光軸 P から離れる方向に分離される。

- 20 次に、 $45^\circ$  回転ファラデー素子 128 により、常光  $R_o$  と異常光  $R_e$  とは、共にそれらの偏波面が  $45^\circ$  回転し、第 2 の複屈折体 126 に入る (図 5 の (c) 参照)。

- 第 2 の複屈折体 126 の結晶軸は、 $45^\circ$  回転した常光  $R_o$  の偏波面に対して、直交する面内にあるように構成されている。したがって、常光  $R_o$  は、第 2 の複屈折体 126 をそのまま常光  $R_o$  として透過する。一方、第 2 の複屈折体 126 の結晶軸を含む面内で振動する偏波面をもつ異常光  $R_e$  は、第 2 の複屈折体 126 内で移動して出力される (図 5 の (d) 参照)

25 レンズ 136 は、 $22.5^\circ$  回転ファラデー素子 132 を通過した常光  $R_o$  及び異常光  $R_e$  のうち常光  $R_o$  のみが、光ファイバセンサ 102 の入射端 102b に結合されるように設定されている (図 5 の (e) 参照)。 $22.5^\circ$  回転ファ

ラデー素子 132 によって、常光  $R_o$  及び異常光  $R_e$  のそれぞれの偏波面が 22.5° 回転させられる（図 5 の（d）参照）。そして、上述したようにレンズ 136 の作用によって、常光  $R_o$  のみが光ファイバセンサ 102 に入射する。異常光  $R_e$  は、光軸 P から離れた方向および位置に分離されているので光ファイバセンサ 102 に入射しない。もちろん、異常光  $R_e$  のみが光ファイバセンサ 102 に入るように構成してもよい。常光  $R_o$  及び異常光  $R_e$  のうちのどちらを選択すべきかという際には、センサの性能を上げるために光パワーの高い偏波面を有するほうの光を選択すべきである。

光ファイバセンサ 102 を通過中の常光  $R_o$  は、電線 100 電流に依存した磁界の影響を受け、ファラデー効果により、磁界強度に応じてその偏波面が回転する（以降ファラデー回転）。光ファイバセンサ 102 の最終端には全反射ミラー 102a が設けられており、この反射ミラー 102a の作用により、常光  $R_o$  は全反射し、折り返し、逆方向光（すなわち、逆方向の直線状偏波光）となる。全反射した逆方向の直線状偏波光は、鉛ガラスファイバ内で更にファラデー回転し（図 5 の（f）参照）22.5° 回転ファラデー素子に入る。ここで、ファラデー回転の合計を  $\alpha^\circ$  とする。

22.5° 回転ファラデー素子では、逆方向光の偏波面がさらに 22.5° 回転する（図 5 の（g）参照）。

従って、22.5° 回転ファラデー素子 132 と、レンズ 136 とを通過した逆方向の直線状偏波光の偏波面は、順方向時での同位置の常光  $R_o$  の偏波面に対し、 $45^\circ + \alpha$  回転していることとなる。ここで  $\alpha$  は、上述したように、光ファイバセンサ 102 内を往復して得られる磁界強度に依存したファラデー回転角である。

第 2 の複屈折体 126 を通過する際、逆方向の直線状偏波光は、常光  $R_o$  と異常光  $R_e$  に分離される（図 5 の（h）参照）。というのは、逆方向の直線状偏波光は、第 2 の複屈折体 126 の順方向時での偏波面に対して  $45^\circ + \alpha$  のずれが生じているからである。常光  $R_o$  の偏波面は、第 2 の複屈折体 126 の結晶軸と光軸を含む面と直交する面内で出力され、異常光  $R_e$  は、その結晶軸と光軸を含む面内で振動する偏波面で出力される。すなわち、第 2 の複屈折体 126 を透過

して分離した常光の偏波面と異常光の偏波面とは、第2の複屈折体の結晶軸が基準となって分離する。常光R<sub>o</sub>は、結晶軸と光軸を含む面と直交する面内であり、異常光R<sub>e</sub>はそれと直交した偏波面となる。

常光と異常光の光強度比は、第2の複屈折体透過前の光強度をPとすると常光R<sub>o</sub>は $R_o = P \cdot \cos^2(45 + \alpha)$ で表され、異常光R<sub>e</sub>は $R_e = P \cdot \sin^2(45 + \alpha)$ で表される。ここで $\alpha$ は、光ファイバセンサ102内を往復して得られる磁界強度に依存したファラデー回転角である。

45°ファラデー回転素子128を通過する際、常光R<sub>o</sub>の偏波面と異常光R<sub>e</sub>の偏波面とがそれぞれ45°回転し（図5の(i)参照）、第1の複屈折体124に入射する。

第1の複屈折体124では常光R<sub>o</sub>の位置が移動する。これは順方向において常光であったものが45°ファラデー回転素子128を通り、偏波面が45°回転し、更に逆方向において第2の複屈折体を通った常光は45°ファラデー回転素子128を通り、45°回転する事により、90°回転した偏波面の状態で第1の複屈折体124を通り、異常光としての振舞いをするためである。移動方向は順方向での移動方向を辿る方向となる（図5の(j)参照）。結果として、第1の複屈折体124を透過した常光R<sub>o</sub>と異常光R<sub>e</sub>は、順方向時での偏波保持光ファイバ108には戻らず、残りの2本の光ファイバ110、112と結合する。常光R<sub>o</sub>は光ファイバ110を通して受光器118に導かれ、異常光R<sub>e</sub>は光ファイバ112を通して受光器120に導かれ、それぞれ、受光器118、112で光電変換される。そして、図示しない演算処理装置において、受光器118、112で得られた2つの電気信号のそれぞれの変調度（AC成分／DC成分）の平均が演算される。このような演算処理を行うと、上述したように、ファラデー素子128、132の温度特性に基づく、偏波面の回転角度の変動が補償され、高精度の測定を可能にしつつ、光回路部104からの測定光を効率良く受光することができる。

45°回転ファラデー素子、22.5°回転ファラデー素子のそれぞれの角度は、ファラデー回転角度のもっとも好ましい数値を示したものであり、本発明はこれらの角度に限定されるものではない。というのは、それらの角度は最適な角

度であって、それからズレても本発明の本質的な機能は維持されるからである。但し、ズレた分、光損失、電流測定範囲、測定精度などの低下がおこる可能性がある。

2つの複屈折体の結晶軸方向と、2つのファラデー素子128、132ヘマグ  
5 ネット130、134によって加えられる磁界方向とにより、また、順方向にお  
ける22.5°ファラデー素子透過後の常光または異常光のどちらを光ファイバ  
102に結合するかで、幾つかの3芯フェルール内の光ファイバの配置パターン  
を考えることができる。

図6は、3芯フェルール内の光ファイバの配置パターンを変えた、第5実施例  
10 に係る電流測定装置の概略的な構成図である。図6において、図5に示す構成と  
同様な構成は同じ符号が用いられており、同様な説明は省略し、相違点のみ説明  
する。

3芯フェルール123は、3本の光ファイバ108、110、112を保持し  
ており、これによって、偏波保持光ファイバ108と光ファイバ110と光ファ  
15 イバ112との間が所定間隔で保持されている。図6(k)は、光源114側か  
ら3芯フェルール122を見た際の、偏波保持光ファイバ108及び光ファイバ  
110、112の配置パターンを示したものである。この図6(k)に示されて  
いるように、3芯フェルール123によって、偏波保持光ファイバ108は中心  
に位置決めされ、光ファイバ110は図中下右側に位置決めされ、光ファイバ1  
20 12は図中真下に位置決めされている。

図5に示す第1の複屈折体124の結晶軸は、光軸に沿って図中上方に向いて  
いるのに対して、図6に示す第1の複屈折体124は、光軸に沿って図中下方に  
向いている。したがって、順方向光に関して、図5に示す実施例においては、複  
屈折体124によって異常光R<sub>e</sub>は下側にずれたが(図5(b)参照)、図6に  
25 示す実施例においては、第1の複屈折体124によって異常光R<sub>e</sub>は上側にずれ  
る。一方、逆方向光に関しては、第1の複屈折体124において、常光R<sub>o</sub>の位  
置が下側に移動する。移動方向は順方向での移動方向を辿る方向となる(図6の  
(j)参照)。結果として、第1の複屈折体124を透過した常光R<sub>o</sub>と異常光

Reは、順方向時での偏波保持光ファイバ108には戻らず、残りの2本の光ファイバ110、112と結合する。

3芯フェルールのフェルールパターン（偏波保持光ファイバと光ファイバとの配置パターン）をどのように構成するの否かは、第2の複屈折体126の結晶軸と第1の複屈折体124の結晶軸に関係している。図5に示す実施例においては、第2の複屈折体126の結晶軸が、第1の複屈折体124の結晶軸に対して45度傾いている。この場合、図5で示すフェルールパターンのほかに図6で示すフェルールパターンを取ることができる。

図7は、3芯フェルール図5の45°回転ファラデー素子のファラデー回転角が30°になり、22.5°回転ファラデー素子のファラデー回転角が15°にズレた場合の第6実施例に係る電流測定装置の概略的な構成図である。図7において、図5に示す構成と同様な構成は同じ符号が用いられており、同様な説明は省略し、相違点のみ説明する。

3芯フェルール125は、3本の光ファイバ108、110、112を保持しており、これによって、偏波保持光ファイバ108と光ファイバ110と光ファイバ112との間が所定間隔に保持されている。図7(k)は、光源114側から3芯フェルール125を見た際の、偏波保持光ファイバ108及び光ファイバ110、112の配置パターンを示したものである。この図6(k)に示されているように、3芯フェルール125によって、偏波保持光ファイバ108は中心に位置決めされ、光ファイバ110は図中真上に位置決めされ、光ファイバ112は図中下右側に位置決めされている。

図7では、第2の複屈折体126の結晶軸が第1の複屈折体124の結晶軸に対して30度傾いており、且つ45°回転ファラデー素子のファラデー回転角が30°となっている。この場合、フェルールパターンは図7に示すパターン以外にも考えられる。

第2の複屈折体126の結晶軸が第1の複屈折体124の結晶軸に対して30度傾いている場合でも、電流測定装置としての機能を果たすことができる。しかし、電流測定のレンジが狭まる欠点と、光の損失が生じる欠点（結果として逆方向光が4本に分離するため、受光器への光量が減り、系全体の光損失が増加する



）とがある。このため、図5や図6の実施例に示すように、第2複屈折体の結晶軸が第1の複屈折体の結晶軸に対して45度傾いている構成を採用することが好ましい。

5 以上のような図5ないし図7において示した実施例に係る反射型の光ファイバセンサを用いた電流測定装置においては、図1ないし図4に示した実施例に係る電流測定装置と比較して、さらに安価で低損失な構造を提供することができる。

図1に示した光電変換部20には、45°回転ファラデー素子26、マグネット26a、複屈折体23、受光器24、25がある。この図1に示した構成の場合、偏波保持光ファイバ15と受光器24との間にレンズはないが、45°回転  
10 ファラデー素子26と複屈折体23とがあるため、偏波保持光ファイバ15と受光器24との間の距離を短くすることができない。このため、偏波保持光ファイバ15から出射された逆方向光を全て受光するためには、受光器24内の受光エリアサイズを大きくしておく必要がある。これにより、受光器の価格が高くなってしまいうデメリットを有している。

15 図4に示された実施例において、受光器内の受光エリアサイズは小さくてすみ、C部が2箇所あることから標準化され、従来技術と比較して安価とすることができる。しかしながら、C部が2箇所あることにより、調芯組立てを2回行なう必要がある。調芯組立ては、光ファイバと光ファイバをレンズを介して最適な光結合を行なうために、XYZ方向に微調整しながら最適結合位置を探し出し、固  
20 定するものである。調芯には長い時間が必要であり、また、調芯設備は、レーザー溶接機を含むため高価である。従って、これに伴うコストは高く、調芯組立てを2回行なうところを1回で行なうことができれば、そのコストは半分となる。また、調芯設備による生産量は2倍にできる。C部の数を2個を1個にすることにより、レンズ、2芯キャピラリの部品点数も削減できる。

25 以上のように上記実施例によれば、光回路部を一回の調芯組立てができるため、部品点数が少なくすみ、安価な反射型電流センサを提供できる。また、部品点数が少ないため光の透過損失が低く、一回の調芯組立てですむため、光の結合点が少なくなり、光の結合損失を低くすることができる。

次に、本発明の第7実施例に係る電流測定装置を図8に基づいて説明する。上記実施例においては、反射型の光ファイバセンサを用いた電流測定装置を説明したが、第7実施例に係る電流測定装置においては、透過型の光ファイバセンサが用いられている。なお、第7実施例に係る電流測定装置は、図14に示した従来技術に係る電流測定装置に改良を加えたものであり、同様な構成は同符号を用いる。

図8に示す透過型の電流測定装置においては、被測定電流が流れている導体の外周に光ファイバセンサ200が、周回設置される。光ファイバセンサ200の一端側は薄型の偏光子202に接続されており、他端側は偏光分離部としての光回路部300に接続されている。偏光子202は、図示しない光源からのランダム光を受け、直線状偏波光を取り出して、光ファイバセンサ200に送出する。直線状偏波光が光ファイバセンサ200を通る際に、被測定電流の磁界の影響を受けてファラデー効果により、偏波面が回転する。偏波面が回転した直線状偏波光は、光ファイバセンサ200の他端側から送出され、光回路部300に入射する。光回路部300は光ファイバセンサ200に磁界が印加されない状態のときに光ファイバセンサ200からの偏波面に対し、光回路部300内の複屈折体310の結晶軸を45°回転した状態に回転配置しておく。このようにすると常光500と異常光600とに分離される。常光500は第1の光ファイバ306に出力され、異常光600は第2の光ファイバ308に出力される。第1の光ファイバ306を通った光と、第2の光ファイバ308を通った光とは、図示しない光電変換部に出力される。光電変換部において、第1の光ファイバ306を通った光と第2の光ファイバ308を通った光とがそれぞれ電気量に変換され、これらの電気量が図示しない信号処理回路に送られ、かかる電気量に基づいてファラデー回転角が求められ、最終的に被測定電流が測定される。

光回路部300は、直線状偏波光400を常光500と異常光600とに分離するための複屈折体としての複屈折体310と、光ファイバセンサ200の出射端200aから出射される直線状偏波光を複屈折体310に導くレンズ312とを備えている。複屈折体310とレンズ312とは、円筒状の筐体320内に配置されている。円筒状の筐体320の一端側には、1つ穴のフェルール322が

取り付けられており、円筒状の筐体 3 2 0 の他端側には、2 芯フェルール 3 2 4 が取り付けられている。光ファイバセンサ 2 0 0 の出射端側が、1 つ穴のフェルール 3 2 2 の穴に嵌入されて保持されている。第 1 の光ファイバ 2 0 6 と第 2 の光ファイバ 2 0 8 の入射端が、2 芯フェルール 3 2 4 のそれぞれの穴に嵌入されて保持されている。2 芯フェルール 3 2 4 は、第 1 及び第 2 の光ファイバを所定間隔（すなわち、2 芯の離間距離に相当）を隔て保持する保持手段として構成されている。2 芯フェルール 3 2 4 は、第 1 及び第 2 の光ファイバ 3 0 6、3 0 8 の入射端側を保持するセンサ側の端面 3 2 4 a を有しており、この端面 3 2 4 a は、複屈折体 3 1 0 に近接して配置されている。

- 10      このように、2 芯フェルール 3 2 4 によって第 1 及び第 2 の光ファイバを所定間隔を隔て保持するようにしたので、第 1 及び第 2 の光ファイバの 3 0 6、3 0 8 の入射端を、複屈折体 3 1 0 の近傍に配置することによって、複屈折体 3 1 0 と第 1 及び第 2 の光ファイバの 3 0 6、3 0 8 の入射端との間にレンズを設けることなく、複屈折体 3 1 0 における常光 5 0 0 と異常光 6 0 0 との分離間隔と、
- 15      2 芯フェルール 3 2 4 における前記所定間隔とを一致させるように容易に調整できる。

レンズ 3 1 2 は、ファイバセンサの出射端 2 0 0 a と複屈折体 3 1 2 との間に設けられており、レンズ 3 1 2 の結像点は、光ファイバセンサの出射端 2 0 0 a と、第 1 及び第 2 の光ファイバ 3 0 6、3 0 8 の入射端に設定されている。

- 20      偏光子 2 0 2 の透過軸と複屈折体 3 1 0 の結晶軸とは互いに対して  $45^\circ$  ずれており、これによって、複屈折体 3 1 0 は、光ファイバセンサ 2 0 0 から出射された直線状偏波光を互いに対して直交する常光と異常光とに分離することができるようになっている。

- 25      このように、本実施例に係る透過型の光ファイバセンサにおいて、複屈折体 3 1 0 と光ファイバセンサ 3 0 6、3 0 8 との間に、従来必要であった 2 個のレンズ 2 1 4、2 1 8、光路変換プリズム 2 1 6 を設けることが不要となり、これによって、光学回路部 3 0 0 を小さく構成することができ、ひいては電流測定装置の全体構造を小型化することができる。

なお、図 8 に示すレンズ 3 1 2 に代えて、屈折率分布を有する G R I N レンズを採用してもよい。

上記実施例においては、光ファイバセンサ 2 0 0 の出射端と複屈折体 3 1 0 との間に 1 つのレンズ 3 1 2 を設けるようにしたが、図 9 に示すように、光ファイ  
5 バセンサ 2 0 0 の出射端と複屈折体 3 1 0 との間に、2 つのレンズ 3 3 0、3 3 2 を直列に配置するようにしてもよい。この場合、一方のレンズ 3 3 0 をコリメートレンズ（平行ビーム形成用のレンズ）とし、他方のレンズ 3 3 2 を集光レンズとすることが好ましい。かかる実施例を採用した場合、コリメートレンズ 3 3 0 で直線偏波光を平行にした後、集光レンズ 3 3 2 で直線偏波光の焦点合わせる  
10 をすればよいことから、直線偏波光の、第 1 及び第 2 の光ファイバの 3 0 6、3 0 8 の入射端への焦点合わせをより容易に行うことができる。なお、図 9 において、図 8 に示した要素と同様な要素は同符号が用いられており、これによって、同様な構成の説明は省略する。

#### 産業上の利用の可能性

15 以上、詳細に説明したように、本発明にかかる電流測定装置によれば、構成部品の低減により、小型化を達成し、かつ、簡単に組み立てられ、コストの低減も図れる。

請求の範囲

1. 電流測定装置であって、

5 被測定電流が流れている導体の外周に周回設置される光ファイバセンサを備え

、  
光源から出射され前記光ファイバセンサ中を伝播する直線状偏波光の偏波面が  
、前記被測定電流の磁界で回転され、

前記光ファイバセンサから出射される前記直線状偏波光の偏波面の回転角を電  
10 気量に変換する光電変換部と、

前記光ファイバセンサと前記光電変換部との間に設けられた光回路部とを備え

、  
前記光回路部は、直線状偏波光を複屈折させて常光と異常光とに分離して出射  
させる複屈折体を有しており、

15 前記電流測定装置は、また、

前記常光を、前記光回路部の複屈折体から前記光電変換部に送出すると共に、  
前記異常光を、前記光回路部の複屈折体から前記光電変換部に送出するための複  
数の光ファイバと、

前記複数の光ファイバを所定間隔を隔て保持する保持手段とを備え、

20 前記複数の光ファイバは、一端と他端とを有しており、

前記複数の光ファイバの一端は、前記複屈折体の近傍に配置され、前記他端は  
前記光電変換部に接続されていることを特徴とする電流測定装置。

2. 請求項 1 に記載の電流測定装置において、

前記複屈折体における前記常光と前記異常光との分離間隔と、前記保持手段に  
25 おける前記所定間隔とを一致させたことを特徴とする電流測定装置。

3. 請求項 1 又は 2 に記載の電流測定装置において、

前記光回路部は、さらに、前記光ファイバセンサの一端と前記複屈折体との間  
に設けられたレンズ系であって、結像点が前記光ファイバセンサの一端と前記光

ファイバの一端とに設定されるレンズ系を備えることを特徴とする電流測定装置。

4. 請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の電流測定装置において、

前記保持手段は、前記光ファイバを所定間隔を隔てて平行に保持する間隔保持部材を備えていることを特徴とする電流測定装置。

5. 請求項 4 に記載の電流測定装置において、

前記光ファイバセンサは、前記直線状偏波光を入射するための一端と、入射した前記直線状偏波光を反射するための他端とを備え、前記反射された前記直線状偏波光は、前記一端を通して出射されることを特徴とする電流測定装置。

10 6. 請求項 5 に記載の電流測定装置において、

前記光回路部は、さらに、前記光ファイバセンサの一端と前記複屈折体との間に配置され、前記直線状偏波光の偏波面を  $22.5^\circ$  だけ回転させるファラデー素子を備えていることを特徴とする電流測定装置。

7. 請求項 6 に記載の電流測定装置において、

15 前記光ファイバは、

前記光源側からの光を前記複屈折体に入射させるとともに、前記複屈折体から出射される戻り常光を前記光電変換部に送出する第 1 光ファイバと、

前記複屈折体から出射される戻り異常光を前記光電変換部に送出する第 2 光ファイバとを備えていることを特徴とする電流測定装置。

20 8. 請求項 7 に記載の電流測定装置において、

前記レンズ系は、前記光ファイバセンサの一端と前記複屈折体との間に設置されており、前記レンズ系の結像点は、前記光ファイバセンサと前記第 1 光ファイバの端面コア部に設定されていることを特徴とする電流測定装置。

9. 請求項 8 に記載の電流測定装置において、

25 前記間隔保持部材は、前記第 1 光ファイバと前記第 2 光ファイバとを所定間隔を隔てて平行に保持する 2 芯構造のフェルールからなることを特徴とする電流測定装置。

10. 請求項 6 に記載の電流測定装置において、

前記光回路部は、さらに、

前記光ファイバセンサから出射し前記ファラデー素子を介して入射した前記直線状偏波光を、互いに対して直交する常光と異常光とに分離する第2の複屈折体と、

- 5 前記第2の複屈折体からの前記常光の偏波面と前記異常光の偏波面とをそれぞれ45°だけ回転させる第2のファラデー素子とを備え、

前記複屈折体は、偏波面が45°だけ回転された前記常光をそのまま通過させると共に、偏波面が45°だけ回転された前記異常光を複屈折させて、前記常光と前記異常光との間の相対距離を広げて出射し、

- 10 また、前記複屈折体は、前記光源から出射された光のうち前記複屈折体の結晶軸と光軸を含む面と直交する面に沿った直線状偏波光をそのまま透過させて、前記第2のファラデー素子に送出することを特徴とする電流測定装置。

11. 請求項10に記載の電流測定装置において、

前記光ファイバは、

- 15 前記光源からの前記ランダム光を前記複屈折体に入射させる偏波保持光ファイバと、

前記複屈折体から出射される常光を前記光電変換部に送出する第1光ファイバと、

前記複屈折体から出射される異常光を前記光電変換部に送出する第2光ファイバとを備えていることを特徴とする電流測定装置。

- 20 12. 請求項11に記載の電流測定装置において、

前記光回路部は、さらに、前記光ファイバセンサの一端と前記第2の複屈折体との間に設置され、結像点が前記光ファイバセンサと前記偏波保持光ファイバの端面コア部に設定されるレンズ系を備えることを特徴とする電流測定装置。

13. 請求項12に記載の電流測定装置において、

- 25 前記間隔保持部材は、前記偏波保持光ファイバと前記第1光ファイバと前記第2光ファイバとを、所定間隔を隔てて平行に保持する3芯フェルールからなることを特徴とする電流測定装置。

14. 請求項5ないし13のいずれか1項に記載の電流測定装置において、

前記光ファイバセンサは、反射型のセンサであることを特徴とする電流測定装置。

15. 請求項1ないし4のいずれか1項に記載の電流測定装置において、

5 前記光ファイバセンサは、前記直線状偏波光を入射するための一端と、入射した前記直線状偏波光を出射するための他端とを備えたことを特徴とする電流測定装置。

16. 請求項15に記載の電流測定装置において、

前記光回路部は、さらに、前記光源から出射されたランダム光のうち直線状偏波光のみを送出する偏光子を備え、

10 前記光ファイバセンサの一端は前記偏光子に近接して配置され、

前記光ファイバセンサの他端は、前記複屈折体に接して配置されており、

前記偏光子の透過軸と前記複屈折体の結晶軸とは互いに対して $45^\circ$ ずれており、これによって、前記複屈折体は、前記光ファイバセンサから出射された前記直線状偏波光を互いに対して直交する常光と異常光とに分離することを特徴とする電流測定装置。

17. 請求項16に記載の電流測定装置において、

前記光ファイバは、

前記複屈折体から出射される常光を前記光電変換部に送出する第1光ファイバと、

20 前記複屈折体から出射される異常光を前記光電変換部に送出する第2光ファイバとを備えていることを特徴とする電流測定装置。

18. 請求項17に記載の電流測定装置において、

前記レンズ系は、前記光ファイバセンサの他端と前記複屈折体との間に設置されており、前記レンズ系の結像点は、前記光ファイバセンサの他端と前記第1光

25 ファイバの端面コア部に設定されることを特徴とする電流測定装置。

19. 請求項18に記載の電流測定装置において、

前記間隔保持部材は、前記第1光ファイバと前記第2光ファイバとを所定間隔を隔てて平行に保持する2芯構造のフェルルールからなることを特徴とする電流測定装置。



20. 請求項15ないし19いずれか1項に記載の電流測定装置において、

前記光ファイバセンサは、透過型のセンサであることを特徴とする電流測定装置。

21. 請求項1に記載の電流測定装置において、

5 前記光電変換部は、第1の光電変換素子と、第2の光電変換素子とを備えており、

前記光ファイバは、

前記常光を、前記複屈折体から前記第1の光電変換素子に送出するための第1の光ファイバと、

10 前記異常光を、前記複屈折体から前記第2の光電変換素子に送出するための第2の光ファイバとを備えており、

前記第1および第2光電変換素子により得られた2つの電気信号のそれぞれの変調度の平均を演算したことを特徴とする電流測定装置。

22. 被測定電流が流れている導体の外周に周回設置される光ファイバセンサであって、光源から出射され前記光ファイバセンサ中を伝播する直線状偏波光が、  
15 前記被測定電流の磁界で回転するファラデー回転角を検出する前記光ファイバセンサと、

前記光ファイバセンサで検出されたファラデー回転角を電気量に変換する光電変換部と、

20 前記光ファイバセンサと前記光電変換部との間に設けられた光回路部とを備え、

前記光回路部は、

前記光ファイバセンサの入射端近傍に設置され、前記直線状偏波光の偏波面を所定角度だけ回転させるファラデー素子と、

25 前記ファラデー素子の前記光電変換部側に設置され、前記光ファイバセンサからの出射光を、互いに対して直交する常光と異常光とに分離する光透過型の複屈折体とを備え、

前記電流測定装置は、また、

前記直線状偏波光を前記複屈折体に入射させるとともに、前記複屈折体から出射される常光を前記光電変換部に送出する第1光ファイバと、

前記複屈折体から出射される異常光を前記光電変換部に送出する第2光ファイバとを備え、

- 5 前記光回路部は、さらに、前記光ファイバセンサの入射端と前記複屈折体との間に設置され、結像点が前記光ファイバセンサと前記第1光ファイバの端面コア部に設定されるレンズ系を有することを特徴とする電流測定装置。

23. 請求項22記載の電流測定装置において、

- 10 前記レンズ系は、前記複屈折体と前記ファラデー素子との間に設置することを特徴とする電流測定装置。

24. 請求項22記載の電流測定装置において、

前記複屈折体は、ルチル、オルトヴァナジン酸イットリウム、ニオブ酸リチウム、方解石からなる平行平板から選択されることを特徴とする電流測定装置。

25. 請求項22ないし24のいずれか1項に記載の電流測定装置において、

- 15 前記第1および第2光ファイバは、2芯構造のフェルールなどからなる間隔保持部材により所定間隔を隔てて平行に保持され、

前記第1および第2ファイバの保持間隔を、前記平行平板で構成された前記複屈折体の厚みと物質とに応じて求められる前記常光と異常光との間の分離間隔に設定することを特徴とする電流測定装置。

- 20 26. 請求項22ないし25のいずれか1項に記載の電流測定装置において、

前記所定角度は、22.5°に近い値であることを特徴とする電流測定装置。



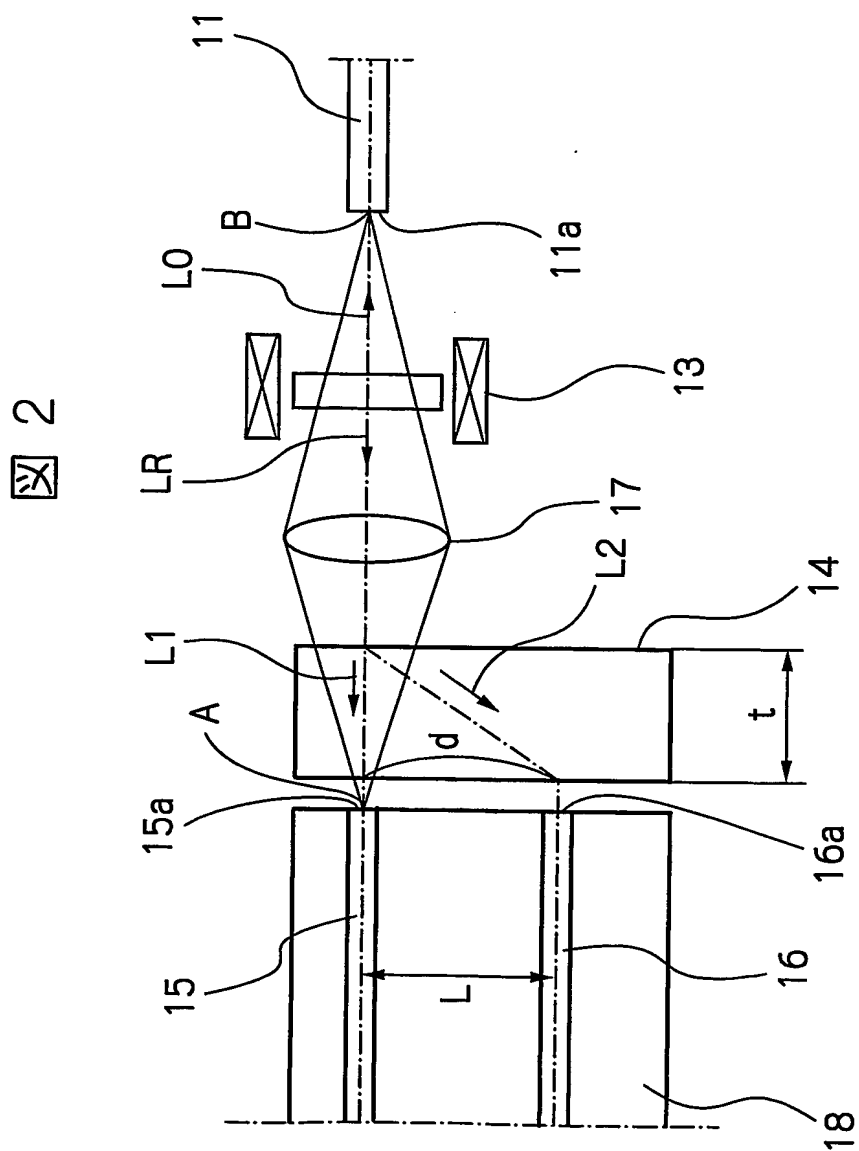




図 4

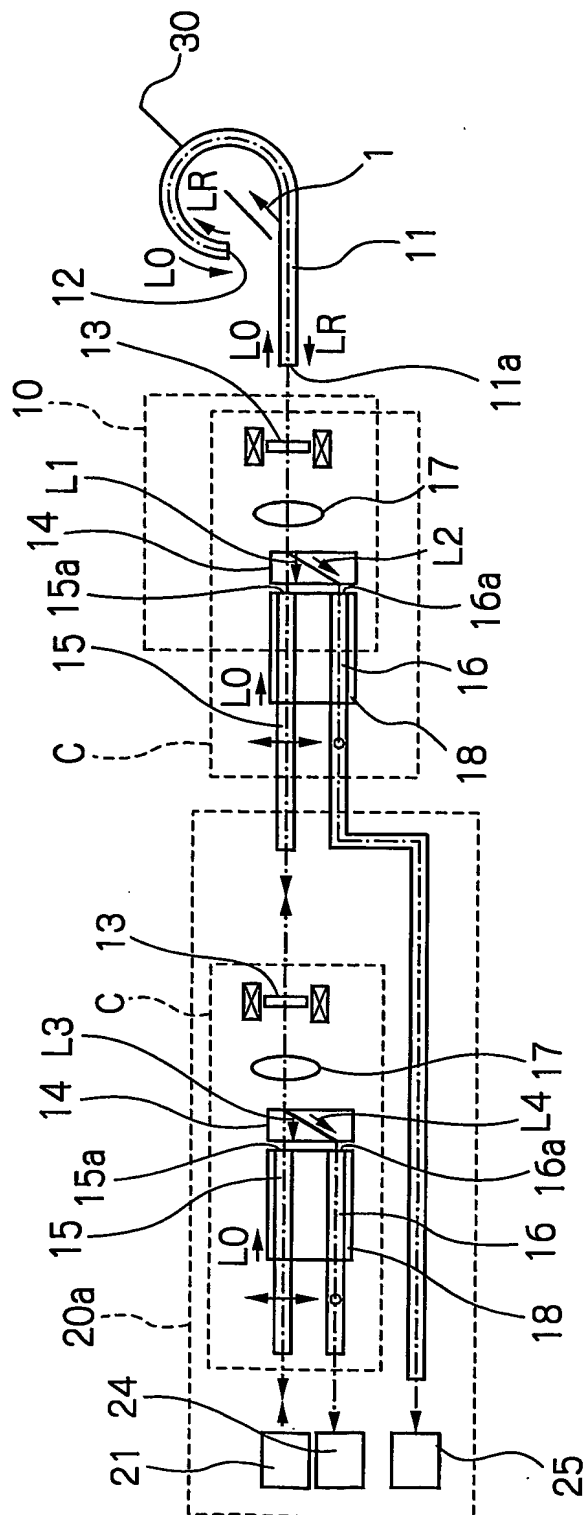


図 5

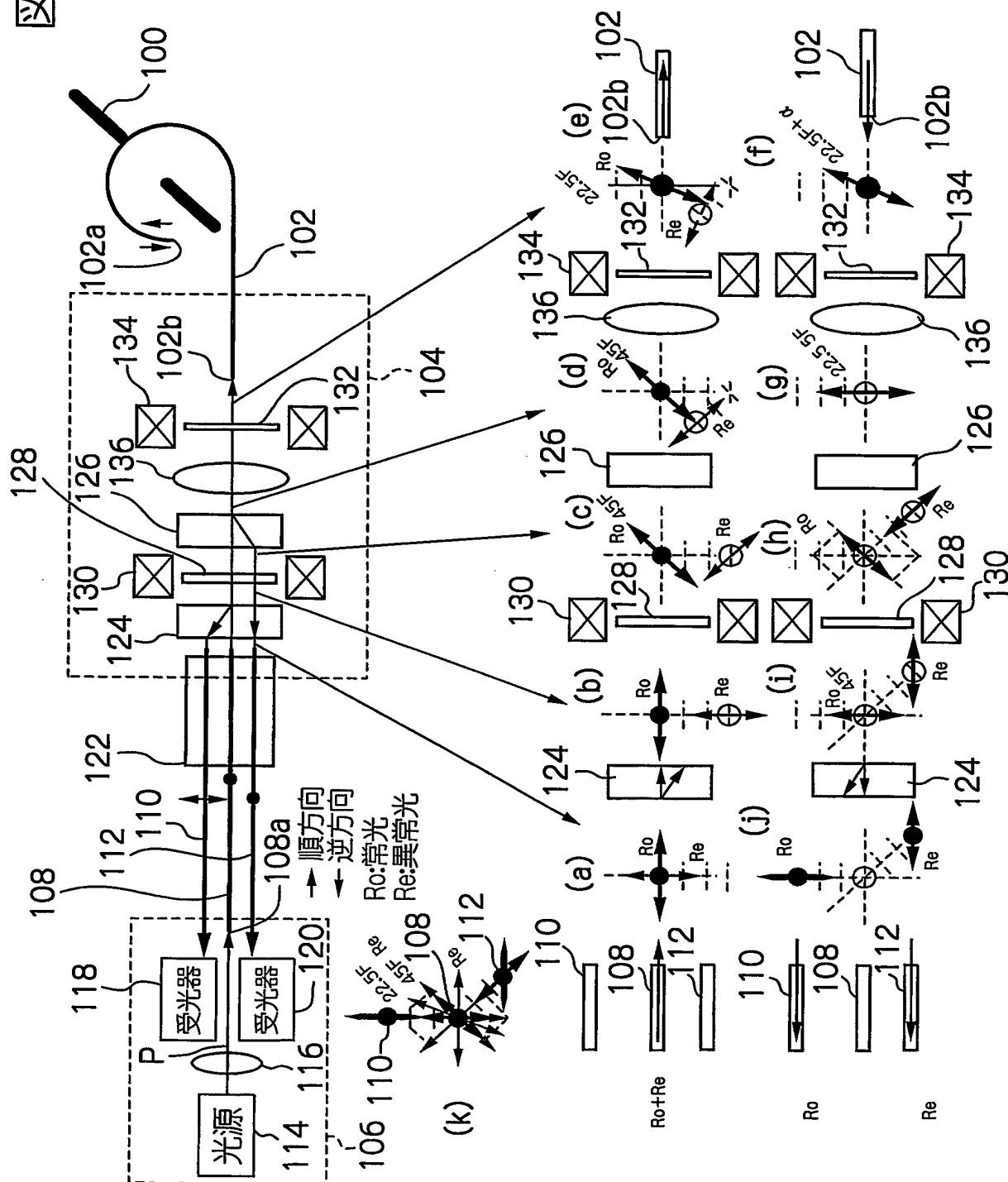


図 6

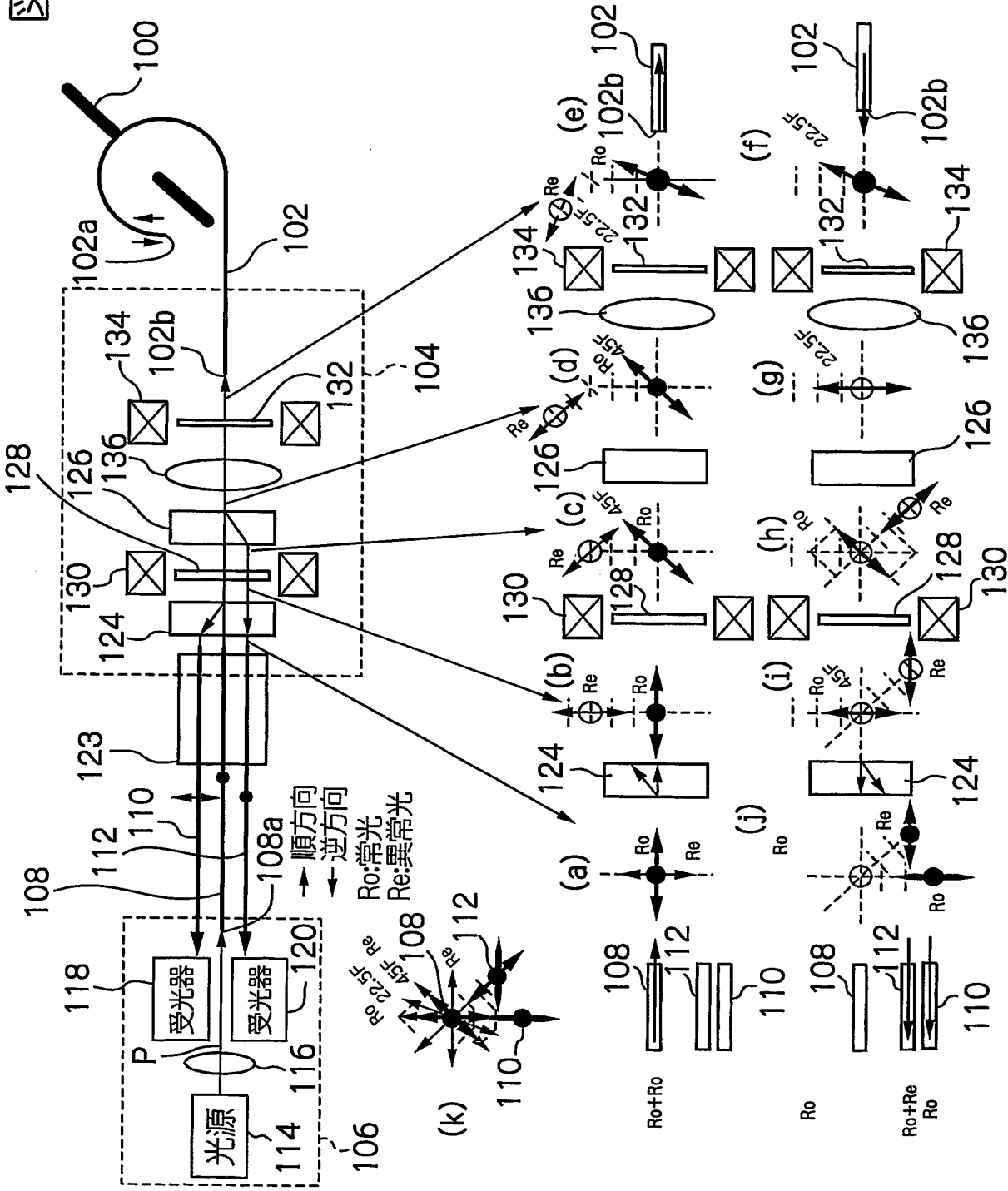




図 7

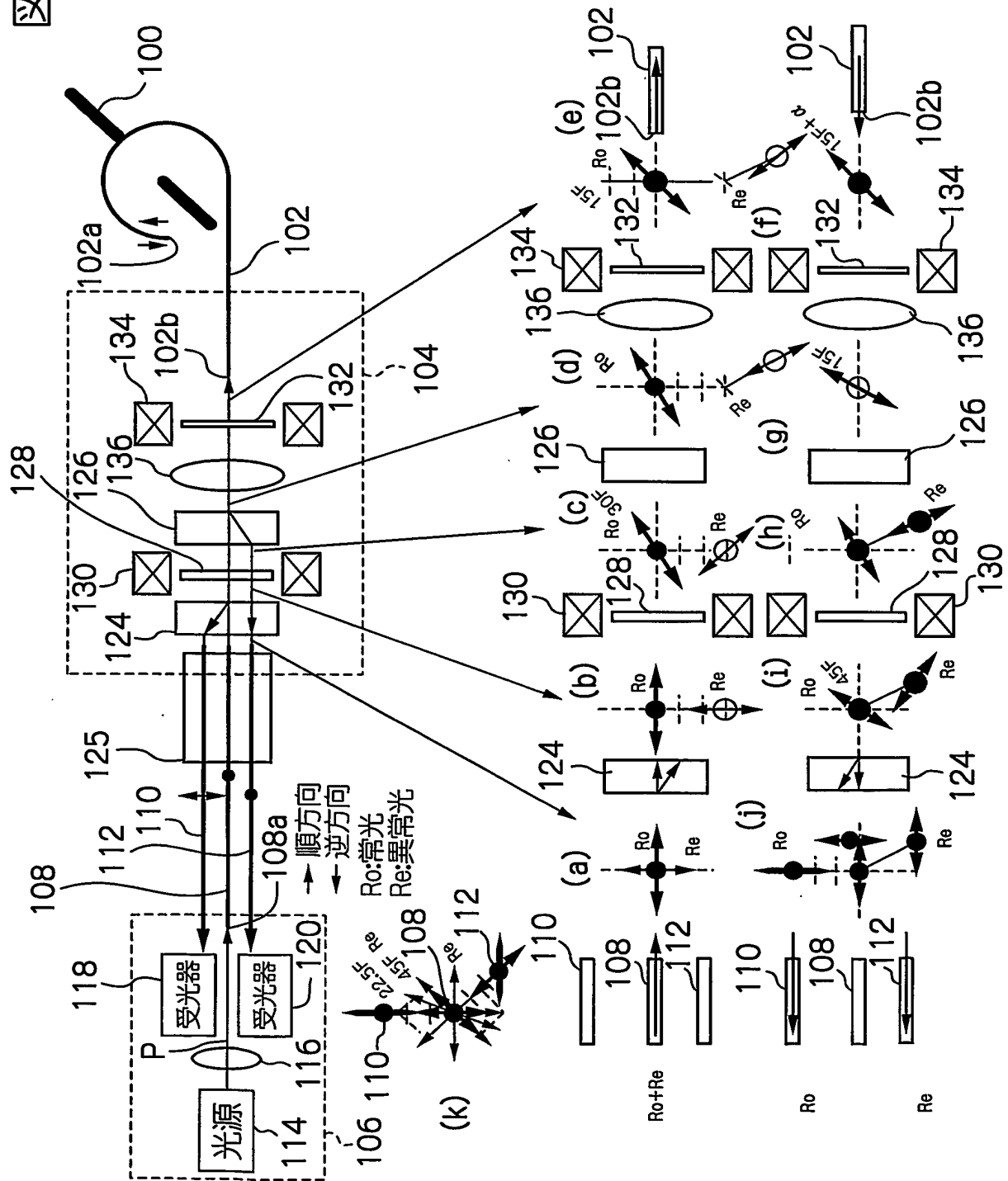


図 8

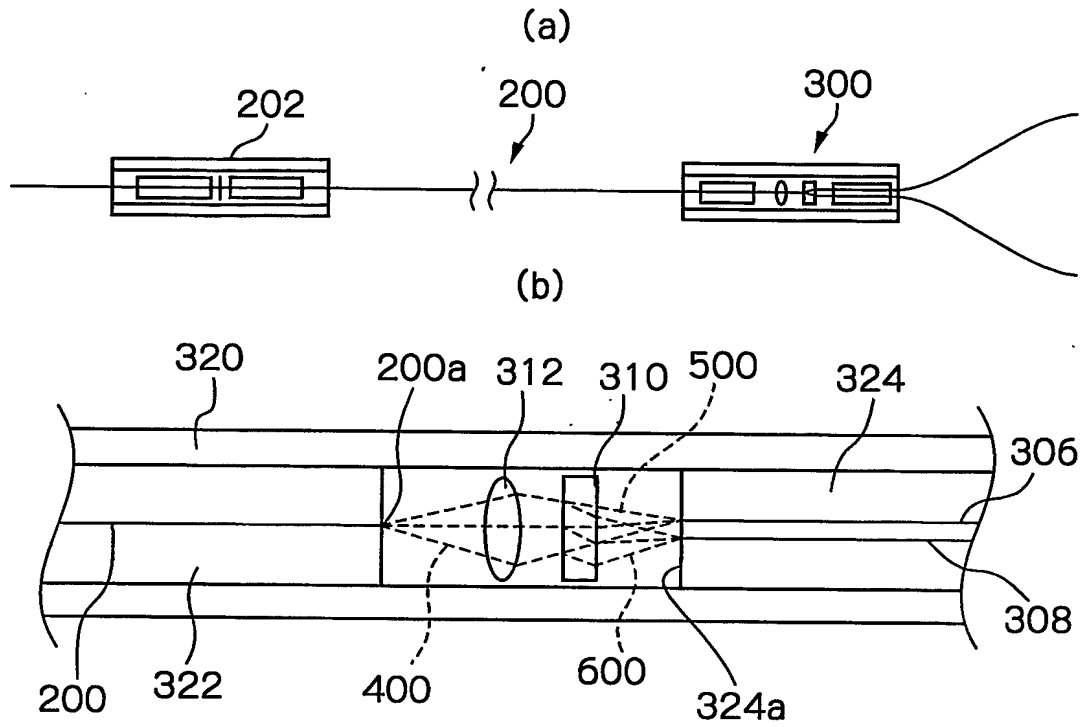


図 9

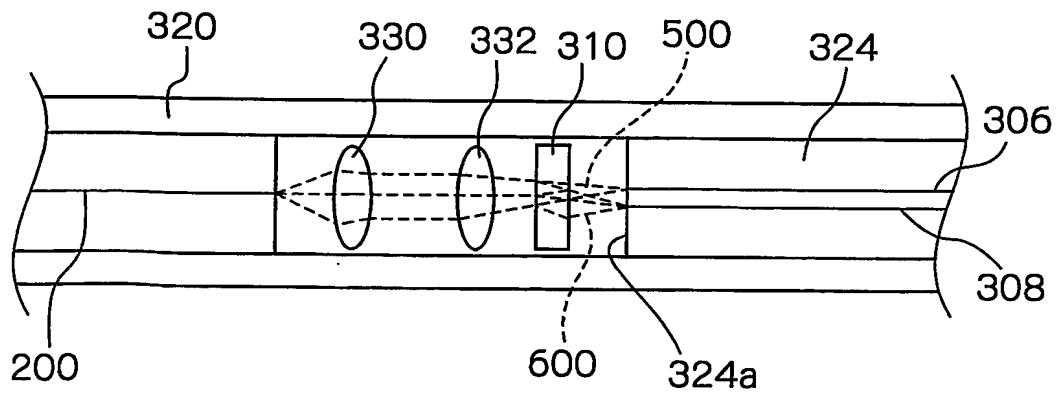
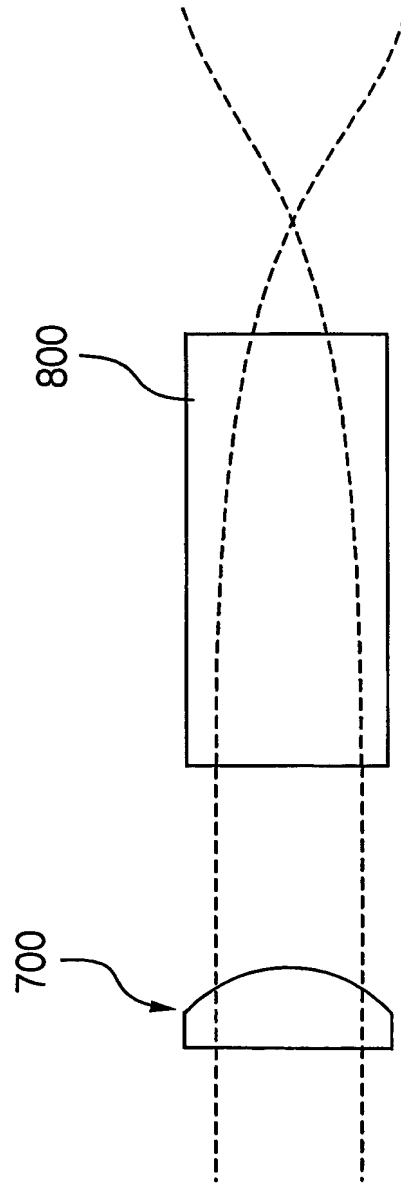


図 10



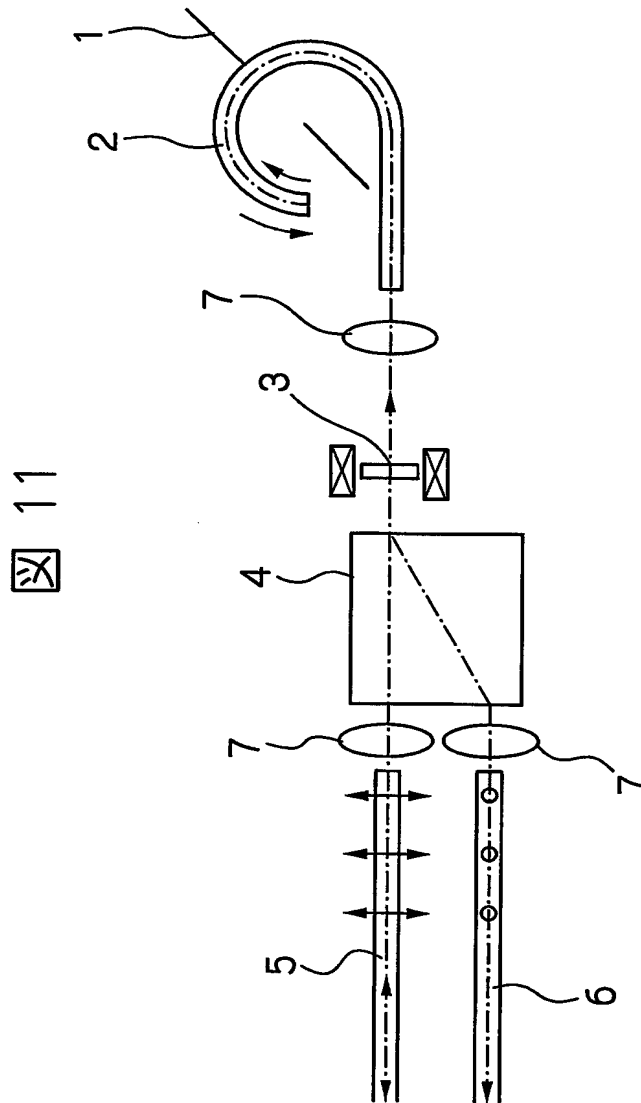


図 12

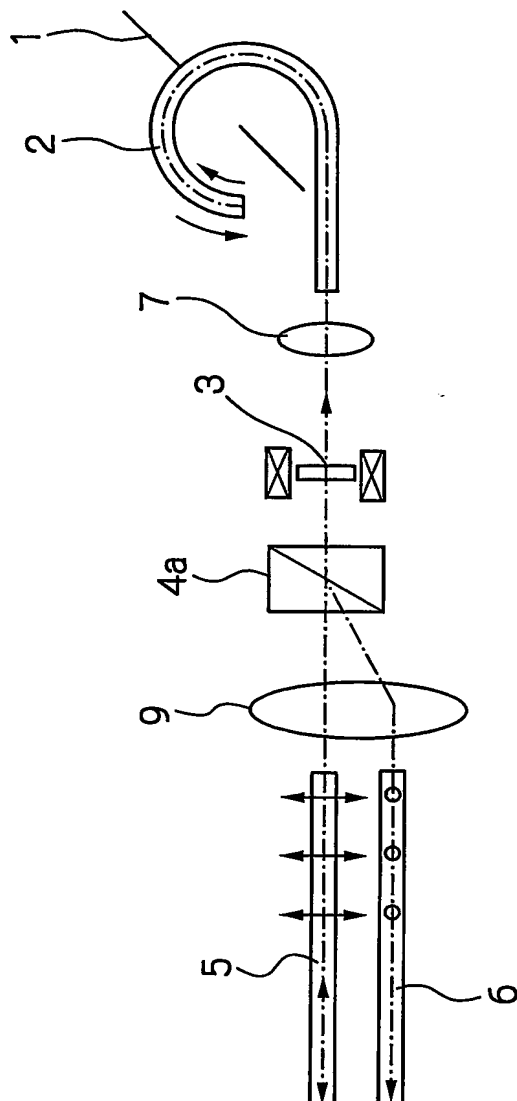


図 13

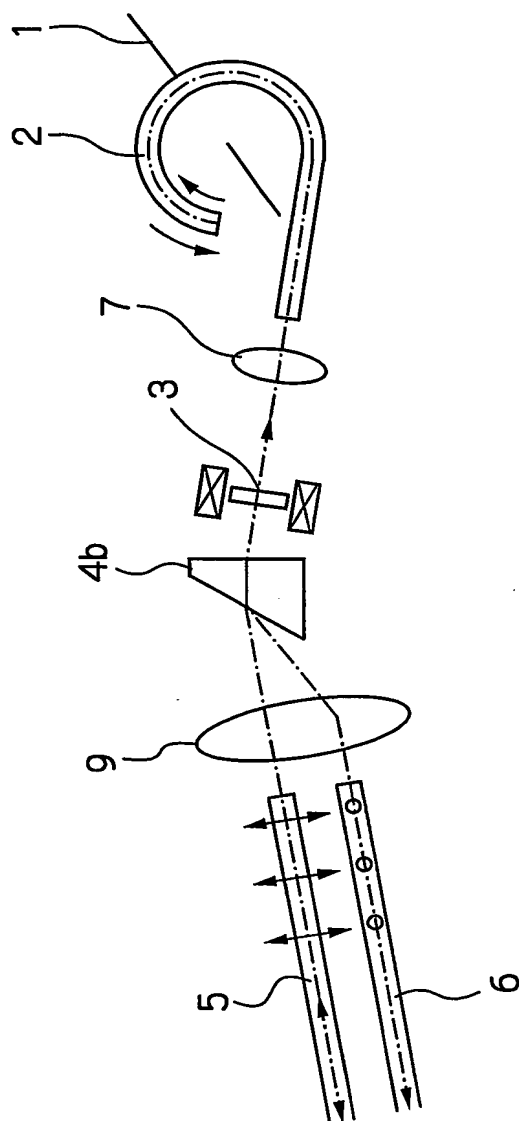
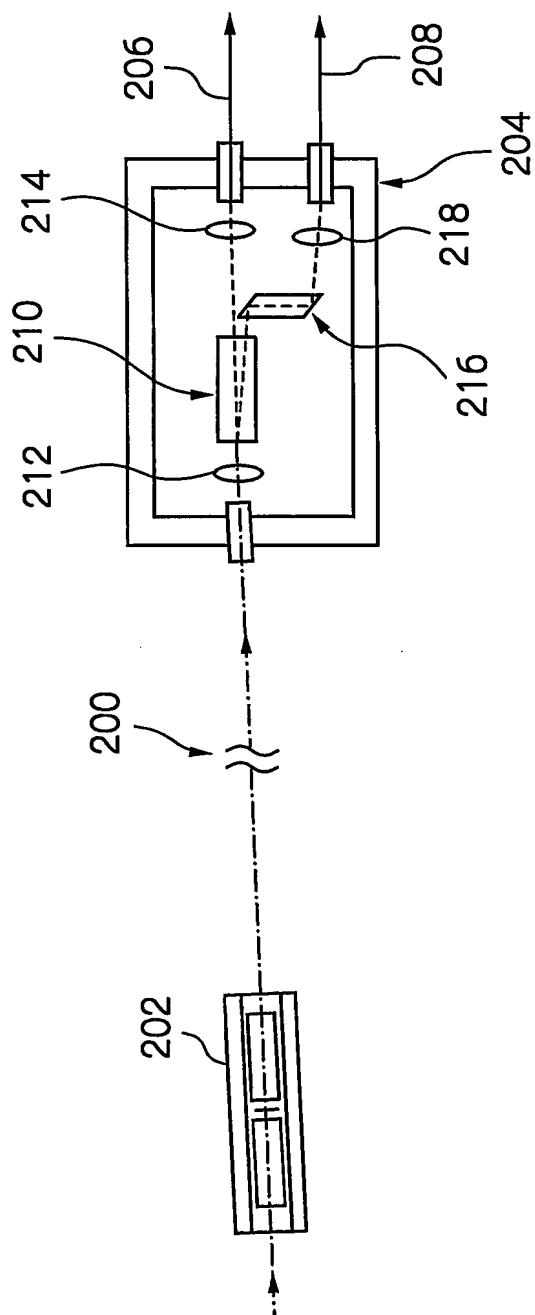


図 14



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP03/02344

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G01R15/24

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> G01R15/22-24

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-319051 A (The Tokyo Electric Power Co., Inc.), 04 December, 1998 (04.12.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-26
A	JP 8-201440 A (Toshiba Corp.), 09 August, 1996 (09.08.96), Full text; all drawings (Family: none)	1-21, 25, 26
A	JP 7-270505 A (Hoya Corp.), 20 October, 1995 (20.10.95), Full text; all drawings (Family: none)	15-21

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
26 May, 2003 (26.05.03)

Date of mailing of the international search report  
10 June, 2003 (10.06.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP03/02344

**C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 7-159450 A (NGK Insulators, Ltd.), 23 June, 1995 (23.06.95), Full text; all drawings (Family: none)	1-21, 25, 26

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl <sup>7</sup> G01R15/24		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl <sup>7</sup> G01R15/22-24		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの		
日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2003年 日本国登録実用新案公報 1994-2003年 日本国実用新案登録公報 1996-2003年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 10-319051 A (東京電力株式会社) 1998. 12. 04, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-26
A	JP 8-201440 A (株式会社東芝) 1996. 08. 09, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-21, 25, 26
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		
の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	26. 05. 03	国際調査報告の発送日 10.06.03
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 中村 直行	2S 3005
電話番号 03-3581-1101 内線 3258		

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 7-270505 A (ホーヤ株式会社) 1995. 10. 20, 全文, 全図 (ファミリーなし)	15-21
A	JP 7-159450 A (日本碍子株式会社) 1995. 06. 23, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-21, 25, 26

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**